В.Б. Чернов, канд. экон. наук, доц.
ЮУрГУ, Челябинск

АНАЛИЗ ПРОЕКТНОГО РИСКА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Методы теории нечетких множеств широко применяются в экономике — от оценки эффективности инвестиций до кадровых решений и оптимизации замен оборудования [1]. Задача минимизации риска неэффективного управления инвестиционными процессами тесно связана с задачей борьбы с неопределенностью. С помощью теории нечетких множеств возможна количественная оценка риска неэффективности инвестиционных проектов и оптимальности планирования инвестиционной программы предприятия.

Преимуществом нечетко-множественных подходов является удобство в применении и охват всех возможных сценариев развития событий [2, 3, 4]. Использование аппарата теории нечетких множеств для учета неопределенности в задачах управления инвестиционными процессами может привести к появлению качественно новых способов отбора инвестиционных проектов по критериям уменьшения неопределенности и риска инвестиционной деятельности.

В работах, относящихся к изучению природы неопределенности, выделены различные типы неопределенности [5–8]. Рассмотрим нечетко-множественный подход на примере анализа инвестиционного риска комплексного инвестиционного проекта [9]. Инвестиционный проект предполагает планирование во времени трех основных денежных потоков: потока инвестиций I, потока текущих (операционных) платежей З и потока поступлений R. Потоки текущих платежей и поступлений не могут быть точно спланированы , поскольку не может быть полной определенности относительно будущей финансово-хозяйственной деятельности. Информационная неопределенность порождает риск принятия неэффективных инвестиционных решений и нежелательных исходов реализации проектов.

Комплексный инвестиционный проект признается эффективным, когда чистый дисконтированный доход комплекса ЧДД, рассчитанный по (1) больше определенного проектного уровня G (обычно G = 0):

$$\times\text{ÄÄ} = \sum_{t=0}^{T}\left[\begin{array}{l}(S_t^{\text{Î Ï}} - \sum\limits_{j=1}^{m} I_t^{\text{Àj–Î Ï}} - I_t^{\text{Î Ï –Ô}})DF_t^{\text{Î Ï}} + \sum\limits_{j=1}^{m} S_t^{\text{Àj}} DF_t^{\text{Àj}} + \\ + \sum\limits_{i=1}^{n}(S_t^{\text{Äi}} - I_t^{\text{Î Ï –Äi}} - \sum\limits_{j=1}^{m} I_t^{\text{Àj–Äi}} - I_t^{\text{Äi–Ô}})DF_t^{\text{Äi}}\end{array}\right] \geq G\,, \qquad (1)$$

где S_t – сальдо текущих притоков и оттоков денежных средств на t-м шаге $S_t = R_t – З_t$;

I_t – инвестиции, выделенные в проект на t-м шаге;

DF_t – коэффициент дисконтирования $DF_t = \dfrac{1}{\prod\limits_{t=1}^{T}(1+E_t)}$;

E_t – норма дисконта на t-м шаге;
Ф – инвестиционный фонд предприятия;
ОП – основной (стратегический) проект;
Aj – вспомогательный j-й проект-акцептор;
Дi – вспомогательный i-й проект-донор.

Если параметры в (1) заданы нечётко, и их точное планируемое значение неизвестно, тогда в качестве исходных данных можно применять треугольные нечеткие числа.

Для анализа эффективности проекта может быть использован следующий набор треугольных нечетких чисел:

$$I_i=(I_{min},\ \bar{I},\ I_{max});$$

$$DF_i=(DF_{min},\ \bar{DF},\ DF_{max});$$

$$S_i=(S_{min},\ \bar{S},\ S_{max});$$

$$G_i=(G_{min},\ \bar{G},\ G_{max}).$$

Для преобразования (1) к использованию нечетких исходных данных может быть применен сегментный способ [1]. По каждому нечеткому числу в структуре исходных данных получены интервалы достоверности $[I_1, I_2]$, $[DF_1, DF_2]$, $[S_1, S_2]$, $[G_1, G_2]$. Для заданного уровня α, путем подстановки соответствующих границ интервалов в (1) получаем:

$$[\times\text{ÄÄ}_1, \times\text{ÄÄ}_2] =$$

$$= [\sum_{t=0}^{T}\left[\begin{array}{l}(S_{t1}^{\text{Î Ï}} - \sum_{j=1}^{m} I_{t2}^{\text{Àj}-\text{Î Ï}} - I_{t2}^{\text{Î Ï}-\text{Ô}})DF_{t1}^{\text{Î Ï}} + \sum_{j=1}^{m} S_{t1}^{\text{Àj}} DF_{t1}^{\text{Àj}} + \\ + \sum_{i=1}^{n}(S_{t1}^{\text{Äi}} - I_{t2}^{\text{Î Ï}-\text{Äi}} - \sum_{j=1}^{m} I_{t2}^{\text{Àj}-\text{Äi}} - I_{t2}^{\text{Äi}-\text{Ô}})DF_{t1}^{\text{Äi}}\end{array}\right], \qquad (2)$$

$$\sum_{t=0}^{T}\left[\begin{array}{l}(S_{t2}^{\text{Î Ï}} - \sum_{j=1}^{m} I_{t1}^{\text{Àj}-\text{Î Ï}} - I_{t1}^{\text{Î Ï}-\text{Ô}})DF_{t2}^{\text{Î Ï}} + \sum_{j=1}^{m} S_{t2}^{\text{Àj}} DF_{t2}^{\text{Àj}} + \\ + \sum_{i=1}^{n}(S_{t2}^{\text{Äi}} - I_{t1}^{\text{Î Ï}-\text{Äi}} - \sum_{j=1}^{m} I_{t1}^{\text{Àj}-\text{Äi}} - I_{t1}^{\text{Äi}-\text{Ô}}) * DF_{t2}^{\text{Äi}}\end{array}\right]]$$

Задавшись приемлемым уровнем дискретизации по α на интервале принадлежности [0, 1], может быть построено нечеткое число ЧДД путем аппроксимации его функции принадлежности μЧДД ломаной кривой по интервальным точкам. Часто оказывается возможным привести к треугольному виду μЧДД, ограничиваясь расчетами по значимым точкам нечетких чисел исходных данных с определением коэффициента достоверности аппроксимации R^2. Это позволяет рассчитывать все ключевые параметры в оценке степени риска не приближенно, а на основе аналитических соотношений (рис. 1).

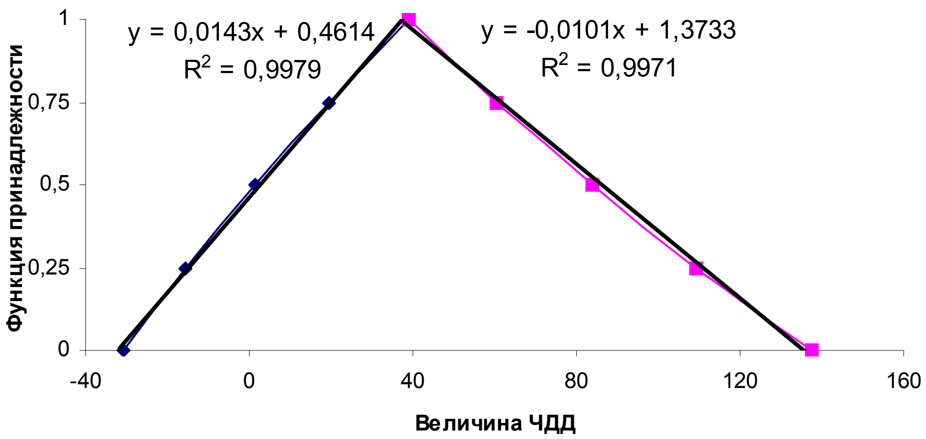

Рис. 1. Приведение к треугольному виду

ЧДД комплексного проекта

На рис. 2 представлены функции принадлежности ЧДД и G.

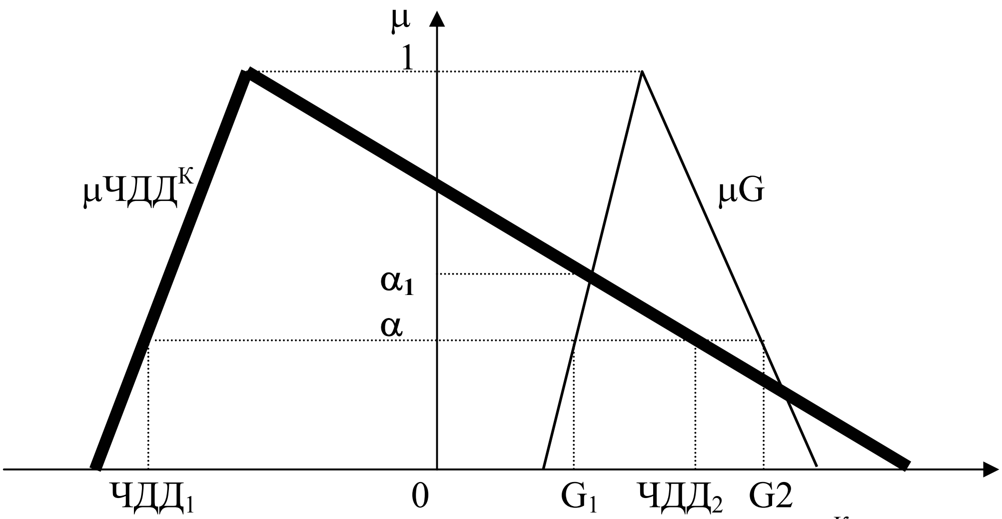

Рис. 2. Функции принадлежности ЧДД^К и G

Точкой пересечения этих двух функций принадлежности является точка с ординатой α_1. Выберем произвольный уровень принадлежности α и определим соответствующие интервалы [ЧДД$_1$, ЧДД$_2$] и [G_1, G_2]. При $\alpha > a_1$ ЧДД$_2$<G_1, интервалы не пересекаются, и абсолютно достоверно, что проект неэффективен, поэтому степень риска неэффективности инвестиций равна 1. Уровень α_1 можно считать верхней границей зоны риска. При $0 \le \alpha \le \alpha_1$ интервалы пересекаются. На рис. 3 показана заштрихованная зона неэффективных инвестиций, ограниченная прямыми $G=G_1$, $G=G_2$, ЧДД=ЧДД$_1$, ЧДД=ЧДД$_2$ и биссектрисой координатного угла G=ЧДД [10].

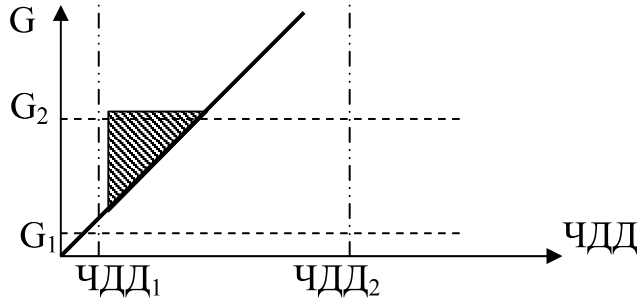

Рис. 3. Зона неэффективных инвестиций

Взаимные соотношения параметров $G_{1,2}$ и $ЧДД_{1,2}$ дают следующий расчет для площади зоны неэффективных инвестиций $S\alpha$:

$$S_{\alpha}=\begin{cases} 0,\ \text{ï ðè}\ \text{×ÄÄ}_1 \geq G_2; \\ \dfrac{(G_2-\text{×ÄÄ}_1)^2}{2},\ \text{ï ðè}\ G_1 \leq \text{×ÄÄ}_1 < G_2; \\ \dfrac{(G_1\ -\text{×ÄÄ}_1)(G_2-\text{×ÄÄ}_1)}{2}(G_2-G_1\ ),\ \text{ï ðè}\ \text{×ÄÄ}_1 < G_1\ ;\ \text{×ÄÄ}_2 \geq G_2; \\ \text{-------------------------------} \\ (G_2-G_1\ )(\text{×ÄÄ}_2-\text{×ÄÄ}_1)-\dfrac{(G_2-\text{×ÄÄ}_1)^2}{2},\ \text{ï ðè}\ G_1 \leq \text{×ÄÄ}_2 < G_2; \\ (G_2-G_1\ )(\text{×ÄÄ}_2-\text{×ÄÄ}_1),\ \text{ï ðè}\ \text{×ÄÄ}_2 < G_1. \end{cases} \tag{3}$$

Степень риска неэффективности проекта $\Re(\alpha)$ определяется как геометрическая вероятность события попадания точки (NPV, G) в зону неэффективных инвестиций:

$$\Re(\alpha)=\frac{S_{\alpha}}{(G_2-G_1)(\text{×ÄÄ}_2-\text{×ÄÄ}_1)}, \tag{4}$$

где ***Sa*** оценивается по (3) [10].

Для оценки неопределённости результата реализации инвестиционного проекта введем обозначение $\overline{\text{×ÄÄ}}$ как наиболее ожидаемого значения ЧДД ($\mu\,\overline{\text{×ÄÄ}}=1$). При высокой степени неопределенности инвестор либо откажется от реализации проекта, либо предпримет дополнительные меры по борьбе с неопределенностью. Количественная оценка потребует измерителей неопределенности информационной ситуации (неустойчивости проекта) [6, 8]. Производить такие измерения возможно по показателю α_1. В зависимости от взаимосочетания интервалов [$ЧДД_1$, $ЧДД_2$] и [G_1, G_2] α_1 принимает следующие значения:

$$\alpha_1=\begin{cases} 0, \text{ ï ðè } \text{×ÄÄ}_1 \ge G_2; \\ \dfrac{G_2-\text{×ÄÄ}_1}{\overline{\text{×ÄÄ}}-\text{×ÄÄ}_1+G_2-\bar{G}}, \text{ ï ðè } \text{×ÄÄ}_1<G_2;\ \overline{\text{×ÄÄ}}>\bar{G}; \\ 1, \text{ ï ðè } \overline{\text{×ÄÄ}}=\bar{G}; \\ \dfrac{\text{×ÄÄ}_2-G_1}{\text{×ÄÄ}_2-\overline{\text{×ÄÄ}}+\bar{G}-G_1}, \text{ ï ðè } \text{×ÄÄ}_2>G_1;\ \overline{\text{×ÄÄ}}<\bar{G}; \\ 0, \text{ ï ðè } \text{×ÄÄ}_2 \le G_1. \end{cases} \tag{5}$$

При ЧДД$_1$≥G_2 и при ЧДД$_2$≤G_1 $\alpha_1=0$, поэтому имеется полная определенность (информационная достаточность) об исходах реализации проекта: в первом случае исход благоприятный, а во втором случае — неблагоприятный. Если $\bar{G}=\overline{\text{×ÄÄ}}$, то $\alpha_1=1$. В этом случае неопределенность оценки будущей эффективности проекта максимальна. По отличию уровней α_1 основного и комплексного проектом в процессе комплексного инвестиционного проектирования можно судить об оптимальности отбора проектов и компоновки элементных проектов в инвестиционной программе. Если после комплексного проектирования уровни риска неэффективности и неопределенности результата реализации уменьшаются, то такую динамику следует рассматривать как положительную. Для наиболее совершенных вариантов комплексных проектов характерно не только существенное уменьшение уровня риска, но и неопределенности проекта. Количественная измеримость уровня α_1 позволяет использовать его в автоматизированных системах инвестиционного проектирования в качестве критерия оценки управления негэнтропией проекта.

Если ограничение G определено четко уровнем G, то есть $G=G_1=\bar{G}=G_2$, тогда выражения (4) для $\Re(\alpha)$ и (5) для α_1 будут иметь вид:

$$\Re(\alpha)=\begin{cases} 0, \text{ ï ðè } \text{×ÄÄ}_1 \ge G; \\ \dfrac{(G-\text{×ÄÄ}_1)^2}{(\text{×ÄÄ}_2-\text{×ÄÄ}_1)(\overline{\text{×ÄÄ}}-\text{×ÄÄ}_1)}, \text{ ï ðè } \text{×ÄÄ}_1<G<\overline{\text{×ÄÄ}}; \\ \dfrac{(\overline{\text{×ÄÄ}}-\text{×ÄÄ}_1)}{(\text{×ÄÄ}_2-\text{×ÄÄ}_1)}, \text{ ï ðè } \overline{\text{×ÄÄ}}=G; \\ 1-\dfrac{(\text{×ÄÄ}_2-G)^2}{(\text{×ÄÄ}_2-\text{×ÄÄ}_1)(\text{×ÄÄ}_2-\overline{\text{×ÄÄ}})}, \text{ ï ðè } \text{×ÄÄ}_2<G<\overline{\text{×ÄÄ}}; \\ 1, \text{ ï ðè } \text{×ÄÄ}_2 \le G. \end{cases} \tag{6}$$

$$\alpha_1=\begin{cases}0,\ \text{ï ðè}\ \text{×ÄÄ}_1 \ge G\\ \dfrac{G-\text{×ÄÄ}_1}{\overline{\text{×ÄÄ}}-\text{×ÄÄ}_1},\ \text{ï ðè}\ \text{×ÄÄ}_1<G<\overline{\text{×ÄÄ}}\\ 1,\ \text{ï ðè}\ \overline{\text{×ÄÄ}}=\overline{G};\\ \dfrac{\text{×ÄÄ}_2-G}{\text{×ÄÄ}_2-\overline{\text{×ÄÄ}}},\ \text{ï ðè}\ \overline{\text{×ÄÄ}}<G;\\ 0,\ \text{ï ðè}\ \text{×ÄÄ}_2 \le G\end{cases} \tag{7}$$

Рассмотрим значения $\Re(\alpha)$ и α_1 из (6) и (7) для трех основных сочетаний ЧДД и G (табл. 1)

Таблица 1

Оценка риска неэффективности и неопределённости эффекта реализации проекта для основных сочетаний ЧДД и G

Вид сочетания	Риск неэффективности проекта	Неопределённость информации о результате реализации проекта
$G = \text{×ÄÄ}_{min}$	Предельно низкий $\Re(\alpha)=0$	Полная достоверность информации о благоприятном эффекте реализации проекта. $\alpha_1=0$. Вероятность осуществления проекта эффективного проекта P=1,0.
$G = \overline{\text{×ÄÄ}}$	Средний $\Re(\alpha)=\dfrac{(\overline{\text{×ÄÄ}}-\text{×ÄÄ}_1)}{(\text{×ÄÄ}_2-\text{×ÄÄ}_1)}$	Максимальная неопределенность информации об эффекте реализации проекта. $\alpha_1=1$.
$G=\text{×ÄÄ}_{max}$	Максимальный $\Re(\alpha)=1$	Полная достоверность информации о неблагоприятном эффекте реализации проекта. $\alpha_1=0$. Вероятность осуществления проекта эффективного проекта P=0.

Степень риска и неопределенность результата реализации проекта принимают значения от 0 до 1. Инвестор, исходя из своих инвестиционных предпочтений, может классифицировать значения $\Re(\alpha)$ и α_1, выделив для себя отрезки неприемлемых значений риска и неопределённости. Можно ввести лингвистические переменные «Степень риска» «Степень неопределённости» со своим терм-множествами значений, например: {Минимальная, Низкая, Средняя, Высокая, Неприемлемая}.

Проведем анализ проектных рисков изолированного инвестиционного проекта и 4 вариантов (1, 3, 6, 8 варианты) комплексного инвестиционного проекта с основными стратегическими проектами, близкими по параметрам к изолированному (вариант 0). Финансовые характеристики проектов представлены в [9].

Исходные данные проектов:

- точно известны размеры инвестиций;
- колебания нормы дисконта E ±20%;
- колебания текущего сальдо St ±20%
- критериями эффективности является неотрицательные значения G1=(0, 0, 0); G2=(0, 5, 10) G3=(0, 10, 20).

Расчет ($ЧДД_{min}$, $ЧДД_{max}$) по (2) для уровней принадлежности α=[0, 1] с шагом 0,25 сделан для каждого элементного проекта, Аппроксимация функции $\mu_{ЧДД}$ показала её близость к треугольному виду (R^2>0,99).

В табл. 2 представлены характеристики интервалов треугольных нечетких множеств ЧДД основных проектов и комплексов по вариантам 0, 1, 3, 6, 8.

Таблица 2

Интервалы нечетких множеств ЧДД основных и комплексных проектов

Вариант	**вид проекта**	×ÄÄ$_{min}$	×ÄÄ	×ÄÄ$_{max}$
0	Основной	-29,62	1,41	56,48
1	Основной	-68,39	-35,54	22,63
	Комплекс	-50,33	20,69	120,56
6	Основной	-49,01	-17,01	39,56
	Комплекс	-30,95	39,11	137,49
3	Основной	-55,8	-23,86	32,89
	Комплекс	-21,5	81,16	217,41
8	Основной	-19,71	-3,94	11,22
	Комплекс	13,88	101,08	195,43

Данные табл. 2 использованы в качестве исходной информации для оценки риска $\Re(\alpha)$, и величины α_1 при различных величинах и способах задания G (табл. 3 – 5). Структурная динамика показателей оценивается по темпу их прироста (снижения) от основного проекта к комплексному проекту по каждому из вариантов, кроме варианта 0.

Таблица 3

Изменение показателей риска и неопределенности основного проекта при комплексном инвестиционном проектировании при G=(0, 0, 0)

Вариант	Вид проекта	$\Re(\alpha)$	α_1	Снижение (–), увеличение (+)	
				риска	неопределённости
0	Основной	0,3284	0,9546	–	–
1	Основной	0,9033	0,3890	–76,89%	+82,16%
	Комплекс	0,2087	0,7087		
6	Основной	0,6877	0,6993	–88,20%	–36,83%
	Комплекс	0,0812	0,4418		
3	Основной	0,7851	0,5796	–97,60%	–63,86%
	Комплекс	0,0188	0,2094		
8	Основной	0,7315	0,7401	–100,00%	–100,00%
	Комплекс	0	0		

При переходе от традиционной формы инвестиционного проектирования (вариант 0) к комплексной (варианты 1, 3, 6, 8) наблюдается снижение риска и неопределенности. Однако при варианте 1, хотя неопределённость комплекса ниже, чем при варианте 0, наблюдается её увеличение по сравнению с основным проектом этого варианта. По мере увеличения количества вспомогательных проектов и при наличии внешнего финансирования основного проекта наблюдается снижение риска и неопределенности комплекса: при варианте 8 риск и неопределенность комплекса равны нулю для G1=(0, 0, 0) и G2=(0, 5, 10).

Таблица 4

Изменение показателей риска и неопределенности основного проекта при комплексном инвестиционном проектировании при G=(0, 5, 10)

Вариант	Вид проекта	$\Re(\alpha)$	α_1	Снижение (–), увеличение (+)	
				риска	неопределённости
0	Основной	0,4021	0,9402	-	-
1	Основной	0,8063	0,3582	–59,84%	+121,53%
	Комплекс	0,3238	0,7936		
6	Основной	0,6098	0,6425	–65,00%	–15,09%
	Комплекс	0,2134	0,5456		
3	Основной	0,6855	0,5326	–83,82%	–45,07%
	Комплекс	0,1109	0,2926		
8	Основной	0,7989	0,5565	–100,00%	–100,00%
	Комплекс	0	0		

Таблица 5

Изменение показателей риска и неопределенности основного проекта при комплексном инвестиционном проектировании при G=(0, 10, 20)

Вариант	Вид проекта	$\Re(\alpha)$	α_1	Снижение (–), увеличение (+)	
				риска	неопределённости
0	Основной	0,4602	0,8680	-	-
1	Основной	0,8612	0,3320	–59,01%	+161,49%
	Комплекс	0,3530	0,8681		
6	Основной	0,6663	0,5943	–63,51%	+7,09%
	Комплекс	0,2431	0,6364		
3	Основной	0,7419	0,4927	–82,23%	–25,24%
	Комплекс	0,1318	0,3684		
8	Основной	0,8982	0,4459	–99,43%	–85,88%
	Комплекс	0,0052	0,0630		

При расширении диапазона задания критериального признака эффективности G до (0, 10, 20) наблюдается снижение антирисковых свойств комплексного инвестиционного проектирования и нарастание неопределенности эффекта реализации по вариантам 1 и 6, однако и в этом случае наличие внешнего финансирования и множественность вспомогательных вариантов делают вариант 8 наиболее эффективным по снижению риска и неопределенности.

Нечетко-множественный подход учета неопределенности имеет преимущества по сравнению с вероятностными подходами. Использование нечетких множеств удобнее для эксперта, охватывает все возможные сценарии развития инвестиционного процесса, позволяет дать количественную оценку не только степени риска неэффективности проекта, но и информационной достаточности оценки эффекта проекта.

Библиографический список

1. Кофман А., Хил Алуха Х. Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями: Пер. с исп. Минск: Вышейшая школа, 1992. 224 с.
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
3. Кофман А. Введедние в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.
4. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной/ А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, О.А. Крумберг. Рига: Зинатне, 1982. 256 с.
5. Найт Ф.Х. Риск, неопределённость и прибыль. М.: Дело, 2003. 360 с.
6. Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределённости (теория ожидаемого эффекта). М.:Наука, 2002. 182 с.
7. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений/ А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева. М.: Радио и связь, 1982. 304 с.
8. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика: Учеб. пособие. 2-е изд. М.: Дело, 2002. 888 с.
9. Чернов В.Б. Управление инвестиционными процессами на промышленных предприятиях / Под ред. И.А. Баева. М.: РАН, 2003. 122 с.
10. Недосекин А.О. Применение теории нечетких множеств к задачам управления финансами. http://www.wmgroup.sp.ru.